

正弦波パターンを用いた移動感覚増強提示手法の検討

The study of the method to enhance the sense of locomotion with sinusoidal pattern

雑賀 慶彦¹⁾, 梶本 裕之¹⁾, 野嶋 琢也²⁾

Yoshihiko SAIGA, Hiroyuki KAJIMOTO and Takuya NOJIMA

1) 電気通信大学 人間コミュニケーション学専攻 梶本研究室
(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {saiga, kajimoto}@kaji-lab.jp)

2) 宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部
(〒181-0015 東京都三鷹市大沢 6-13-1, tnojima@computer.org)

Abstract: The sense of locomotion is essential for improving the information. Some kinds of entertainment systems are equipped with an image display system and a motion platform to generate sense of locomotion. However, it is hard for them to improve the sense of locomotion by building up the performance of the actuator for the motion platform, or by widening the field of view of the image display system because of cost and safety. Then, in this research, we propose a cost effective way for enhancing sense of locomotion by using simple visual stimulus.

Key Words: *peripheral vision, speed sensation, sinusoidal pattern*

1. 序論

移動感覚とは、自分が今どのように移動しているか、ということに関わる感覚である。人間はこの移動感覚を、視覚による速度情報、前庭感覚からの加速度情報、触覚を通じた風情報、等から得ていると考えられており、中でも前庭感覚情報と視覚情報は特に重要視されている[1]。実際に遊園地にあるような大型アトラクションでは、大型の映像表示装置による視覚刺激、モーションプラットフォームによる前庭感覚刺激などを組み合わせることによって、観客に対してこの移動感覚の提示を行っている。このような遊園施設のアトラクションでは、より移動感覚の強い、即ちジェットコースターのように激しく動く乗り物に対する根強い人気があるが、このようなモーションプラットフォーム付きのアトラクションにおいても同様である。その場合、その動き、即ち移動感をどのように提示するかが重要な課題となっている。

本研究ではこの移動感を速度および速度変化に関する感覚と定義する。この移動感は主として視覚を通じた速度ならびに速度変化に関する情報と、前庭感覚を通じた加減速の感覚からなると考えられるが、本研究では特に視覚を通じた、速度並びに速度変化に関する情報に着目した。

モーションプラットフォーム付のアトラクションにおける移動感提示では、観客の前面に据えられた映像表示装置による視覚情報と、プラットフォームの動きによる前庭感覚情報が大きな役割を果たしている。このようなシステ

ムでより大きな移動感を提示する上では、まずモーションプラットフォーム自体の動きを変化させる、という手法が考えられる。しかしアクチュエータには物理的な性能限界が存在するため、極端に激しくプラットフォームを動作させることは難しい。仮にそのように動作させるとしても、固定端である床の強度も相応に強化する必要があると考えられる。何よりも問題となることは、単純に動きを激しくした場合、内部の観客の安全を確保することが困難になる恐れがあることである。その為、単純にプラットフォームの動きを激しくするということは難しいものと考えられる。

また、映像表示装置を大型化して視野角を広げることで、より激しい速度の変化、あるいは速度感を提示するという手法も考えられるが、既存システムへ適用する場合、コンテンツを再度作り直す必要があることに加え、単純に視野角を大きくした場合、VR酔いなどの問題にも注意を払う必要がある。仮にVR酔いなどの問題が発生した場合、速度感を軽減するためにコンテンツを作り直す必要が出てくるが、近年のCG技術の進化に伴い、そのコストは膨大なものになると考えられる。仮に映像の表示装置・コンテンツと、速度並びに速度変化に関する情報とを分離して扱うことが出来る場合、所定のコンテンツにあわせて酔いなどの問題が発生しない範囲で速度感を制御することが可能になるといった利点が生じると考えられる。

そこで本研究では、特に移動感覚、速度感覚を生じさせ

うるエンターテインメントシステムへの応用を念頭に、人間の視覚特性に着目し、より安価かつ簡易な手法による速度感覚の増強を目指すものとする。

2. 視覚特性

通常人間は、自らの移動を判断する際に、視野周辺部におけるオブティカルフローを手がかりにしていることが知られている。人間が移動する際には、速度感や加速度感など、いくつかの感覚が生成されるが、本研究では速度感覚に特に着目するものとした。一般的に、人間の視野は、視線を中心とした数度の範囲内を中心視野、それ以外の範囲を周辺視野とに区別され、周辺視野は中心視野と比較して、空間解像度が低く、時間解像度が高いことから、物体の動き、速度感覚に対して非常に敏感であると言える。そして、その性質を利用し、周辺視野へ積極的にオブティカルフローの提示を行うことによって、速度感覚の増強提示が可能であると考えられる[2]。実際に我々はマトリクスLEDを利用して視野周辺部にオブティカルフローを発生させるシステムを既に試作しており、実験を通じて実際に速度感覚の増強が可能であることを確認した[3]。しかし同時に、いくつかの問題点があることが明らかとなった。

例えば一般的なエンターテインメントシステムでは、観客の正面に映像表示装置が設置されていることがほとんどである。そこに本研究で提案するような視覚刺激による速度感覚の増強を可能にするシステムを同時に利用した場合、本来のエンターテインメントシステムによる映像と、速度感覚増強用の視覚刺激という、2種類の視覚情報が観客に対して同時に提示されることとなる。

我々の提案する速度感覚増強用の視覚刺激は、あくまで本来のエンターテインメントシステムの映像に対して付加されるものであり、それを妨げるものであってはならないと考えられる。実際に先に提案したシステムでは、利用者の視野中心部には映像を表示せず、視野周辺部のみに視覚刺激を生成することで、この問題の解決を図っている。しかし被験者のコメントによると、実際にはシステムで利用した光源の輝度や表示位置、点滅速度などの問題により、視野周辺部の視覚刺激に大きく注意を奪われてしまうという問題があることが明らかとなった。

そこで本研究では、観客に対して無用に注意を引かない、「さりげない」視覚刺激による速度感覚の増強を目指すものとする。

今回我々は、提示される視覚刺激の輝度差および空間周波数に着目した。例えば画面全体の平均輝度に対して視覚刺激として用いる映像の輝度が極端に大きい場合、そのような刺激は大きく観客の注意を引くものになると考えられる。また、空間周波数が高すぎる場合も同様に、観客の注意を引く結果になるものと考えられる。そこで我々はまず「さりげない」視覚刺激を、「映像静止時には中身を判別することが出来ないが、映像が動いている場合にはその動きが知覚できる映像」と定義した。そして表示する映像

の空間周波数と輝度とを変化させながら、表示されている映像の視認性を、実験を通じて検証した。

3. 実験

実験に際して、下記のようなシステムを構築した。まず環境光の条件を統一するために、図1に示すようにディスプレイの周囲に小型暗室を構築した。



図 1. 実験システム

実際の実験に際しては図2に示すように暗幕で被験者ごと覆ってしまい、内部にはディスプレイ以外の光源が存在しない状態を確保している。また、ディスプレイ前面に遮蔽パネルを設置し、被験者の頭部を、顎台を用いて固定することで、被験者の視野角がおおよそ90度となるように調節した。そしてディスプレイ上には、図3のような正弦波パターンを輝度や空間周波数を変えながら表示されるようになっていく。映像はOpenGLを用いて生成しており、視野中心と周辺部において映像輝度の均一性を保つため、ディスプレイとしてCRT(De11社製 P990 19inch)を利用した。



図 2. 実験風景

本実験では特に静止映像の、輝度・空間周波数と閾値の関係を調べることを目的としている。そこで異なる輝度・空間周波数の映像を多数用意し、被験者に対してその映像が正確に認識できるかどうかを問うことで、その閾値を調べるものとする。具体的には、まず図3にあるように縦、横、斜めの3種類の映像を用意した。そしてこれらの映像について、それぞれ図4のように空間周波数や輝度差(正弦波振幅)の異なる映像を用意しディスプレイ上に表示した。被験者は提示された映像を見て、その正弦波の方向(縦/横/斜め)を答えるものとする。表示された正弦波パターンの方向を正しく回答することが出来たならば、被験者はその映像を正しく認識できたものとする。この時表示される正弦波パターンの方向は縦・横・斜めのみであり、被験者は必ず、縦・横・斜めのいずれかで回答することを求められる。

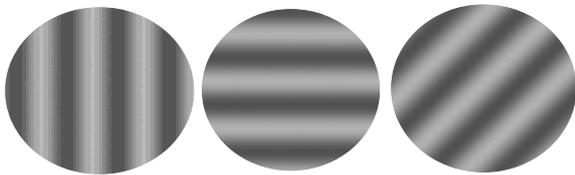


図3. 実験に用いた映像
(輝度差 6.4 [cd/m²], 空間周波数 44 [mc/d])

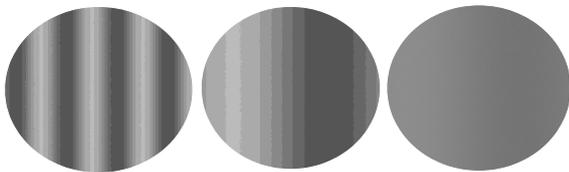


図4. 空間周波数と輝度差を変えた縦波
左図 輝度差 6.4 [cd/m²], 空間周波数 44 [mc/d]
中央図 輝度差 6.4 [cd/m²], 空間周波数 11 [mc/d]
右図 輝度差 2.4 [cd/m²], 空間周波数 11 [mc/d]

実験に際しては、輝度差8種類(0.8, 1.6, 2.4, 3.2, 4.0, 4.8, 5.6, 6.4 [cd/m²]), 空間周波数5種類(2.8, 5.6, 11, 22, 44 [mc/d(=10⁻³ cycle / degree)]), 正弦波の方向3種類(縦, 横, 斜め)の計120種類の映像をランダムに表示し、各試行を3回ずつ行った。映像切替の際には、ホワイトノイズの画像を1秒間表示しており、被験者は映像が切り替わったなるべく早く方向を回答するように要求されている。被験者は4名である。なお、ここで言う輝度差とは、画像全体の輝度平均に対する、最大の輝度値のことである。画面全体の平均輝度は9.8 [cd/m²]であった。

被験者4人の平均値を波の方向別にまとめた結果を図5～図8に示す。

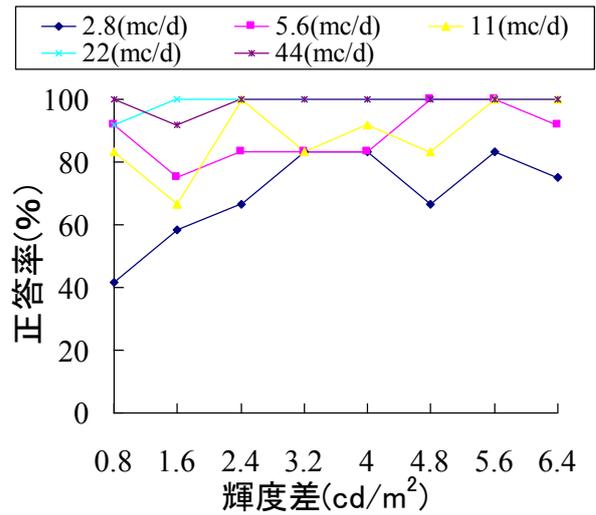


図5. 横波の正答率

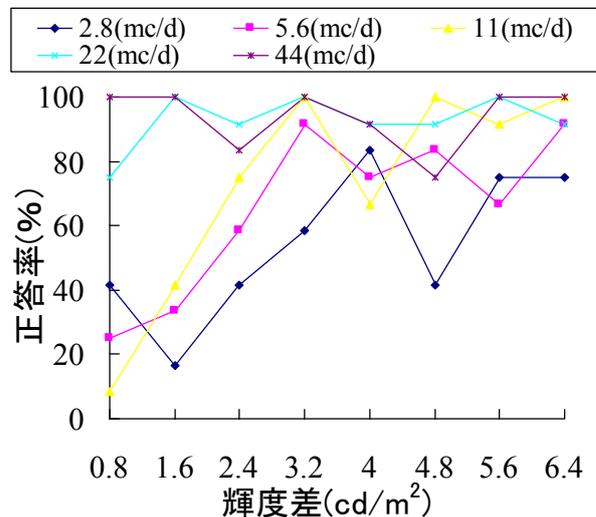


図6. 縦波の正答率

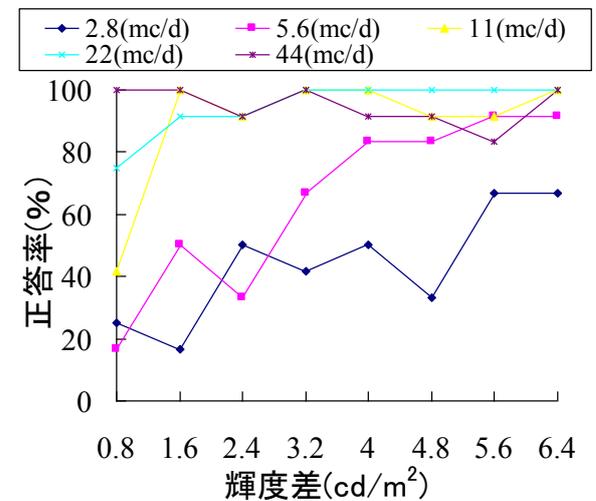


図7. 斜め波の正答率

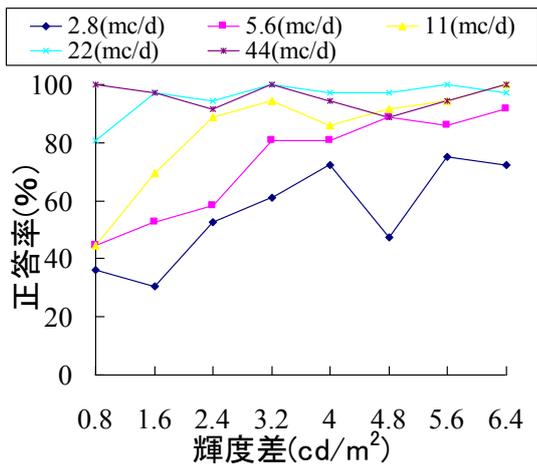


図 8. すべての波の正答率

4. 考察

今回の実験では縦・横・斜めの映像に対して、縦・横・斜めで回答させることから、完全にランダムに回答した場合、正答率は33%に近づくものと考えられる。そこで正答率33%以下は「完全に認識できていない状態」と規定する。

図5～図7より、波の方向の違いによる正答率の比較を行う。すると、横波の正答率が、他の波の正答率より比較的高い様子が伺える。また、被験者に実験を通して、視認しやすい波の方向について聞いてみたところ、4人中3人が横波と答えた。また、逆に視認しにくい波の方向について聞いてみたところ、4人中2人が斜め波と答えた。

そして、Mitchell らによると、同じ空間周波数、同じ輝度差の正弦波の場合、斜め方向の正弦波を知覚する感度が最も低いことを述べている[4]。このことから、さりげない視覚刺激という観点で考えてみると、横波よりも斜め波の方が速度感覚提示に適していると言える。

また、図8より、各波の空間周波数の違いによる正答率の比較を行う。すると、すべての正弦波において、空間周波数の低い2.8[mc/d]の正弦波は、他の空間周波数の正弦波と比較して、正答率が低い。逆に、空間周波数の高い22, 44 [mc/d]の正弦波は、他の空間周波数の正弦波と比較して、正答率が高い。このことから、空間周波数2.8～44[mc/d]の範囲内においては、空間周波数が高いほど、正弦波を視認しやすい傾向にあると考えられる。そして、Campbell & Robson によると、平均輝度が500[cd/m²], 0.5[cd/m²]であり、輝度差が同じ場合、空間周波数が3～5[mc/d]のときに、正弦波の有無を知覚する感度が最大となると述べている。さらに、0.2[c/d]以上の空間周波数において、3～5[mc/d]より低くなるにつれ、感度が低くなっていることを実験を通じて検証を行っている[5]。この事実からも、空間周波数2.8～44[mc/d]の範囲内においては、空間周波数が高いほど、正弦波を視認しやすい傾向があることが言えると考えられる。

そして、空間周波数2.8[mc/d]より小さい正弦波は、我々

の見解によると、輝度差があることは確認できるが、正弦波を正弦波として認識することはできず、速度感覚を生成することは困難であると思われる。このことから、速度感覚を生成し、さらに、さりげない視覚刺激を提示しようと考えた場合、空間周波数2.8[mc/d]の正弦波は提示に適していると適していると言える。

そして、図8より、各波の輝度差の違いによる正答率の比較を行う。すると、空間周波数2.8, 5.6, 11[mc/d]の正弦波は、輝度差が大きくなるにつれ、比較的、正答率が高くなる傾向になる。しかし、空間周波数22, 44[mc/d]の正弦波においては、他の正弦波と比較して、正答率は80%を超え、高く、輝度差による違いはほとんど見られない。一般的に、輝度差0.8[cd/m²]という値は、非常に小さい。この事実から、さりげない視覚刺激を提示しようと考えた場合、空間周波数22, 44[mc/d]の正弦波は、他の空間周波数の正弦波と比較して、速度感覚提示に適さないことが言える。

さらに、正答率33%以下は、正弦波を完全に認識できていない状態であるから、さりげない視覚刺激という観点から考えると、最も速度感覚の提示に適した正弦波は、輝度差1.6[cd/m²], 空間周波数2.8[mc/d]であると考えられる。

5. 結論

実験結果より、提示に適した正弦波パターンの検討を行うことができた。今後は、実験結果から得られた知見を利用し、速度感覚増強提示装置の開発を進める予定である。

6. 謝辞

本研究は科研費若手(B)(課題番号:20700121)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 大山 正・今井省吾・和気典二 編 新編感覚・知覚心理学ハンドブック 誠信書房
- [2] Nichoras A.Webb; Micheal J.Griffin, Eye Movement, Vection, and Motion Sickness with Foveal and Peripheral Vision, Aviation, Space, and Environmental Medicine, Vol 74, No 6., pp. 622-625(4), June 2003
- [3] 雑賀, 岡野, 橋本, 梶本, 野嶋: 周辺視ディスプレイを用いたフライトシミュレータにおける移動感の増強, 日本バーチャルリアリティ学会 第12回大会論文集, 2007
- [4] Mitchell, D.E., Freeman, R.D., & Westheimer, G. 1967 Effect of orientation on the modulation sensitivity for interference fringes on the retina. Journal of the Optical Society of America, 57, 246-249
- [5] Campbell, F. W. & Robson, J.G. 1968 Application of Fourier analysis to the visibility of gratings. Journal of Physiology, 197, 551-566